PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number:

2000-003446 (43)Date of publication of application: 07.01.2000

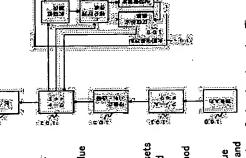
(51)Int.CI.		G06T 7/00 G06T 1/00	(51)Int.Ci. G06T 7/00 G06T 1/00
(21)Application number: 10-167351	: 10-167351	(71)Applica	(71)Applicant: RICOH CO LTD
(22)Date of filing:	15.06.1998	(72)Invento	(72)Inventor: NISHIDA HIROFUMI

(54) MISSING VALUE ESTIMATING METHOD, THREE -DIMENSIONAL DATA INPUT **DEVICE AND RECORDING MEDIUM**

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To highly accurately estimate the coordinate value of a feature point missed by shielding.

missing value and an initial value setting part 108 sets as a missing value to correct the estimation value and image frame in a work memory 103. In a missing value operation for applying a factor decomposition method method again by using the obtained estimation value up the initial value of the missing value. A repeated SOLUTION: A feature point extraction/tracing part estimation part 105, a missing value selection part partial matrix preparing part 107 prepares a partial to the partial matrix by using the initial value as a coordinates of respective featured points on each 102 generates and stores a matrix W arraying the estimation operation part 109 repeats estimation matrix out of the matrix in order to estimate the missing value, applying the factor decomposition 106 selects one missing value in the matrix W, a



interpolates the missing value of the matrix W by using a final estimation value. Thus all missing values of the matrix W are successively interpolated one by one.

(19)日本国特許庁(JP)

(11)特許出國公開番号 (12)公開特許公報(A)

アワード(物地) **5B057** Σ 415 16/62 15/66 G06F 如別配与

8 %

G06T

(51) Int. C1.

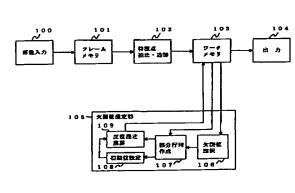
			株式会		A13	
(全14月)	000006747 株式会社リコー	宋元六元/ 東京都大田区中周込1丁目3街69 西田 広文	東京都大田区中區込1丁目3番6号 株式会社リコー内	(74)代型人 100073760 弁型士 鈴木 賦 (外1名)	ドターム(参考) 58057 AAOS AAOG BAO2 BA11 CA13	
OL	(71)出願人 000006747 株式会社 ((72) 金田寺		(74)代理人	Fターム(参	
審査請求 幕請求 精水項の数6	特願平10-167351	平成10年6月16日(1998.6.15)				
	(21)出顾番号	(22)出版日				

(54) 【発明の名称】欠捌値推定方法、三次元データ入力装配、及び、記録媒体

[57] [要約]

【瞬題】 遮蔽により欠落した特徴点の座標値を高辯度 に推定する。

用し、得られた推定値を欠調値として用いて因子分解法 を選択し、その欠測値を推定するための行列Wの部分行 8で久測値の初期値を設定する。反復推定領算部109 は初期値を欠測値として用い部分行列に因子分解法を適 的な推定値を用いて行列Wの欠調値を補完する。行列W 特徴点抽出・道跡部102によって、各 -クメモリ103上に生成される。欠別値推定的105 列を部分行列作成部107で作成し、初期位散定部10 を再度適用し推定値を修正する推定砲算を反復し、最終 特徴点の各画像フレーム上での路場を並べた行列Wがワ において、欠週値選択邸106で行列Wの1つの欠週値 の全ての欠調値が1つずつ原次補完される。 (解決手段]



http://www1.ipdl.jpo-miti.go.jp/PA1/result/detail/.../wAAAa21103DA412003446P1.ht 00/10/17

8

一道の時条列国像に対し複数の特徴点の 自跡を行うことによりメモリ上に生成された、各特徴点 の各国像フレーム上での竪棋値を並んた行列中の欠谫値 を推定する方法であって、

【柳求項2】 財第3ステップにおいて、散第2ステッ 対し、その欠測値として初期値を用い因子分解法を適用 プで推定された最終的な推定値を用いて数メモリ上の行 眩境1のステップから眩绡4のステップまでの処理を眩 のステップと、畝第2ステップで作成された部分行列に して欠捌佰の推定値を求め、求めた推定値を欠捌値とし する推定資質を反復して行うことにより、欠週値に対す メモリ上の行列の全ての欠適値が指定値を用いて補完さ 阪メモリ上の行列から欠当首を1つ過択する第1のステ ップと、眩斑1のステップで選択された欠涸値を推定す るための、眩メモリ上の行列の部分行列を作成する第2 て用い因子分解法を再度適用して欠適値の推定値を修正 る最終的な推定低を得る第3ステップと、数第3ステッ 列の対応する欠割値を補完する第4ステップとを含み、 れるまで繰り返すことを特徴とする欠別値推定方法。

プで作成された部分行列の、欠測値を含む行又は列を除 位を求めることを特徴とする請求項1配載の欠週値推定 いた部分行列に因子分解法を適用することにより酸初期

と、眩뙤3手段に記憶されている行列から、その欠適値 し、その欠调値として初期値を用い因子分解法を適用し 用い因子分解法を再度適用して欠測値の推定値を修正す る推定預算を反復して行い、最終的に得られた推定値を 用いて数第3手段に配位されている行列の対応する欠割 **宜を相完する第4手段と、該第4手段によって全ての欠** 阅値が補完された後の行列を該第3手段より外部へ出力 と、眩蜺1手段により入力された一連の時系列画像に対 し複数の特徴点の追跡を行って、各特徴点の各画像フレ て欠週値の描定値を求め、求めた推定値を欠週値として 一ム上での座標値を並べた行列を生成する第2手段と、 放第2手段により生成された行列を記憶する第3手段 を推定するための部分行列を作成し、敵部分行列に対 【翻求項3】 一連の時系列回像を入力する第1手段 する類5手段とを具備する三次元データ入力装配。

された部分行列に対し、その欠測値として該初期値を用 【間求項4】 政第4手段は、政第3手段に記憶されて する初期値を求める第8手段と、披第7手段により作成 権定値を欠適値として用い因子分解法を再度適用して欠 り作成された部分行列の欠別値を含む行又は列を除いた い因子分解法を適用して次割値の推定値を求め、求めた 致第6手段により選択された欠別値を推定するための該 行列の部分行列を作成する第7手段と、散第7手段によ 部分行列に因子分解法を適用することにより欠割値に対 いる行列から推定対象の欠別値を避択する第6手段と、

的に得られた推定値を用いて該第3手段に記憶されてい る行列の欠測値を補完する第9手段とからなることを特 致とする糖水項3 記載の三次元データ入力装置。

値に対する最終的な推定値を得る第4ステップと、酸第 を、コンピュータに実行させるためのプログラムが記録 されたことを特徴とするコンピュータ読み取り可能な記 【樹求項5】 一連の時系列回像に対し複数の特徴点の を推定するための、酸メモリ上の行列の部分行列を作成 する第3のステップと、眩第3ステップで作成された部 樹値として用い因子分解法を再収適用して欠測値の推定 値を修正する推定領算を反復して行うことにより、欠週 4.ステップで推定された最終的な推定値を用いて該メモ リ上の行列の対応する欠捌値を補完する第5ステップと 2のステップと、眩第2のステップで選択された欠測値 法を適用して欠別値の推定値を求め、求めた推定値を欠 追跡を行うことにより、各特徴点の各回像フレーム上で の座標位を並べた行列をメモリ上に生成する第1のステ ップと、抜メモリ上の行列から欠週値を1つ選択する第 分行列に対し、その久測値として初期値を用い因子分解 發媒体。 2 ន

する第3のステップと、眩第3ステップで作成された部 求め、求めた権定値を欠測値として用い因子分解法を再 **収適用して欠測値の推定値を修正する推定剤算を反復し** る第4ステップと、歓箏4ステップで推定された最終的 **補完する第5ステップとを、コンピュータに実行させる** ためのプログラムが記録されたことを特徴とするコンピ 【語求項6】 一連の時条列画像に対し複数の特徴点の **遺跡を行うことにより、各特徴点の各画像フレーム上で** の座標値を並べた行列をメモリ上に生成する第1のステ ップと、眩メモリ上の行列から欠遺値を 1 つ選択する第 2のステップと、眩第2のステップで選択された欠到値 を推定するための、散メモリ上の行列の部分行列を作成 分行列の、欠測値を含む行又は列を除いた部分行列に因 子分解法を適用することにより初期値を求め、散第3ス テップで作成された部分行列に対し、その欠週値として 数初期値を用い因子分解法を適用して欠週値の推定値を て行うことにより、欠週値に対する最終的な推定値を得 な推定値を用いて眩メモリ上の行列の対応する欠測値を ュータ読み取り可能な記録媒体。

【発明の詳細な説明】 珨

象物体の三次元形状やカメラの運動を復元する技術分野 メラなどによって協形された一連の時条列画像から、対 【発明の属する技術分野】本発明は、デジタルビデオカ に関する。

[0002]

カメラのようなデジタルメディアによって取り込んだ動 タヴィジョンの研究分野において国要な課題となってお 画像からの対象物体の三枚元形状の結系が、コンパュー 【従来の技術】 デジタルスチルカメラやデジタルビデオ ය

側値の推定値を修正する推定領算を反復して行い、最終

行車、ビデオカメラを使った三次元形状入力、画像符号 り、その応用分野、例えばロボットヴィジョン、自動走 化、三次元モデリングなどでも大きな関心が持たれてい

メラ中心からの距離を求めることにより、形状を指定す の対応点の動きが大きい場合には、特徴点の対応付けの 抽出問題において、いわゆる「運動からの構造権定 (St て、まずカメラの運動を求め、次に物体上の特徴点のカ るのが普通である。しかし、時系列動画像では、各フレ 一ム間での対応点の動きが小さいので、辺凹を平行道助 状情報の復元が上手くいかない。逆に時系列のサンブリ ング団隔を大きくとった協合、すなわち、各フレーム団 【0003】時条列の二次元勢回像からの川次元倍級の ructure From Motion)」という方法では、運動(Motio 周、求められた奥行き(Depth)の解が不可能になり、形 n)→距離(Depth)→形状(Shape)という手順にしたがっ か回転運動かによって特定するのは不可能に近い。結 **信頼性が低下してしまう。**

算することによって解を安定させる方法として、Tomasi n)」がある (C.Tomasi and T.Kanade, "Shape and mot ion from image streamunder orthography: A factoriz sion,vol.9,1992,pp.137-154)。この方法は、正対影モ 行列の特異値分解を用いるため、他の手法に比べて、解 ation method," International Journal ofComputer Vi デルに基づいて機形定式化を行い、数値計算的に安定な 【0004】奥行きを計算せずに働きと形状を同時に計 とKanadeにより提案された「因子分解法(factorizatio が悩めて安定であることが特徴である。

のカメラモデルである中心射影により近い版似中心対影 (paraperspective)モデルを利用する因子分解法が、Poe 【0005】さらに、定式化の観形性を保ちながら契勝 manとKanadeにより提案された(C.J.Poelman and T.K unade, "A paraperspectivefactorization method for

Jx+de.Jw=dJn v fp = n f · 8 p + y f

※[数2]

[0011] ただし、

[0012]

$$z_{\ell} = (-t_{\ell}) \cdot k_{\ell}, \ x_{\ell} = \frac{(-t_{\ell}) \cdot i_{\ell}}{x_{\ell}}, \ y_{\ell} = \frac{(-t_{\ell}) \cdot i_{\ell}}{x_{\ell}}$$

$$m_{f} = \frac{i_{\ell} - x_{\ell} k_{\ell}}{x_{\ell}}, \ n_{\ell} = \frac{i_{\ell} - y_{\ell} k_{\ell}}{x_{\ell}}$$
(2)

面3までの距離である。後述のように、撥似中心射影モ デルは、中心射影を | s。| */z; +0の仮定のもとで い)は、特徴点すを画像面2~中心射影したときの投影 [0013] ここで、2,はカメラ中心1から仮想回像 近似したものである。なお、図1において、(U.m.)

点の座標である。

分解法においては、F枚の画像フレームにわたってP個 の特徴点を追跡し、その結果として、投影点の回像面の (urp, vrp), f=1,2,...,F;p=1,2,...,Pを並べ 【0014】次に、因子分解法について説明する。因子 ,= (0,; i,, j,) よでの二次元ローカル斑樹

た2F×Pの行列Wを定職する。

特開2000-3446

*shape and motion recovery," IEEE Transactionon Pat tern Analysis and Machine Intelligence, vol.19,no. 3,pp.206-218) .

[0006]にこで、この版以中心対形モデルと、それ

を利用する因子分解法について説明する。

を通り回像面2に平行な仮想画像面である。ワールド函 概系の原点を国心Cに採り、特徴点pのワールド密信系 て、1はカメラ中心、2はカメラ中心1から魚点距離だ 図1は様以中心対形モデルの説明図である。図1におい け離れた回像面である。Cは、カメラにより撮影された 物体の特徴点(その一部が■マークで代扱して扱されて いる) の集合の目心(物体の阻心)である。3は配心に 【000~】 まず段気中心史別ホアルドにしてたばくる。 たの三次元函様をB,ER,とする。 2

|| i・|| = || j・|| = 1, i・× j・= 0)、カメラの光色 方向をk,=j,×j,eK,とする。国像フレームよにお り、単位直交ペクトルの組(i,, j,)により、二次元 し、カメラ中心1の座標をも、 回像回2の二次元ロー いて、国後面2と、ヘクトルド,の交点0,を原点に採 【0008】 時体列画像中のある画像フレーム化に製 カル斑椋系の毡斑ベクトルをi, j,eR*(ただし、 ローカル座標系 2;= (0;;i,,j,)を定義する。 ន

で、特徴点Dを仮想平面3に投影するが、この投影はカ メラ中心1から低心にに向かう直線と平行に行う。そし **万路2のステップや、仮想平因3に投影された点や回復** 面2に中心気影する。特徴点すの国像面2への投影点の Σ,= (0,; i,, j,) での毀損を (u,ο, ν,ο) とす 【0008】破気中心配筋たは、体徴点 bの国復国 5 く の投影は次の2ステップで行われる。第1のステップ る。ただし、カメラの魚点距離は1とする。この (urn, vrn) は次のように改現される。 ខ្ល

[0010]

Ξ

* [發3] : : " v 1P ν F1 ... (FP ...

3

【0016】この行列Wの上半分は特徴点の×座標値u ※【0017】次に、各フレーム毎に全特徴点の×座標値 19、下半分は特徴点のソ路帰位v10をそれそれ表す。行 10 の平均値x1とソ座標値の平均値y [0018]

列Wの各列は一つの特徴点に対する追跡結果、各行は単 ーフレーム内の全特徴点の×座標値又はy座標値に対応

[数4]

 $\frac{1}{p}\sum_{p=1}^{p}u_{f_p}=x_f, \quad \frac{1}{p}\sum_{p=1}^{p}v_{f_p}=y_f$

3

* [0000] 【0019】を求め、行列Wの各要繋からxt, ytを遵

し引いた行列W*を作る。

$$\mathbf{w}^{\bullet} = \mathbf{w} - \begin{bmatrix} \mathbf{x}_1 \\ \vdots \\ \mathbf{y}_1 \\ \vdots \\ \mathbf{y}_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & \cdots & 1 \end{bmatrix}$$

9

なうに分解できる。 [0023] 【0022】 貯遡行列W*は、フレーム数Fと特徴点数 【* p 】 しょう (* p で) しょり (* 0 0 2 1) ここで、W*を「計湖行列」と定義する。

W(2FxP) = R (2Px3) S(3xP)

Pをいくら増やしても階数が高々3であるので、次のよな

9

30◆きる。このような計測行列に対する分解法を「因子分解 {s,:p=1,2,...,P}を並べた行列であることがわか 【0024】これを前記(1)式と照らし合わせると、 RとSはそれぞれカメラの姿勢ペクトル { (mr, n,): f=1,2,...,F}と特徴点の位屋ベクトル

【0025】一般的には、計測行列にノイズが合まれる ため、行例の階数が3であるとは限らないが、その場合 でも、特異値分解を用いて大きな3つの特異値だけを保 つように分解すると、二乗製豊の最小化の意味での最適

【0027】計湖行列の因子分解には、行列の特異値分

アラゴンズムにつこれを下消くる。

て、計測行列W*は次のように3つの行列の箱に分解で

[0028]

Š,

[数7]

計測行列をカメラ登動行列と特徴点形状行列とに分解で◆40

分解が符られる。擬以中心財影モデルの協合も同様に、

解の平法が用いられる。すなわち、特異値分解を用い

【0026】因子分解法では、計測行列の因子分解によ りカメラの運動と物体の形状の復元を行うが、その基本

₩=0∑ v

*か、0に近くなる。0.以路を0であるとして計倒行列

を分解すると、 [00030]

[数8]

3

対角行列、VはP×Pの直交行列である。もし、計測行 【0029】ただし、Uは2F×Pの直交行列、5は計 測行列の特異値(σ」,σ₂,...,σァ)からなるP×Pの 列の階数が3をあれば、0.以降の特異値は0である

w*=ů Ŝ v

 Ξ

[0031]である。 そこで [0032]

[<u>≯</u>1]

S

[0015]

6)

3

※[数10] [0035]とおけば、一つの分解結果 [0036]

We RS

(a)

11 W-R8-Rag-1 S- (RD) (0-1 S) =R8-W [0037]が得られる。しかし、(10)式の分解は 10★ [0038] [数11] - 蔵ではない。実際、任意の正則行列Qにより、

☆[0041] f =1, 2, ...,P [数12] 【0040】そこで、次のような拘束条件を導入する。女 12+x2 12+y2 【0039】のように無数の解が存在する。

(13)

(E) [=1,2, ...,F ◆ [数13] | n T | 2 1 2+ y 2 " m T 112

[0042]

* [数14] | m | | = 1 [0043]

【0044】この拘束条件を潰たするを求め、この名に

一ムで新しい特徴点が導入されたりしないことを仮定し

(14)

[0045] [外2]

R=RO, S=0-1S [0046]とし、

[0047] [543]

カメラの姿勢を示す。 Sは3×Pの行列で各特徴点の三 [0048] と一般に分解する。Rは2F×3の行列で 2,...,F}と、(4)式で計算される(x1, y1)とか 5、カメラの方向 { (i,j,k,) : f=1,2,...,F} 次元座標値を示す。詳細は前述のPoelmanとKanadeの文 **献に融るが、行列Rすなわち { (m,, n,) : f=1,** を求めることができ、ついで (12) 式から2,を、

心的影モデルのいずれを利用するにしても、因子分解法 においては、 遊ばれたすく たの特徴点が、 毎回像のすく ての国像ファームにわたって追跡できることを前扱とし [発明が解決しようとする限題] 正対影モデル、擬似中

(2) 式からカメラの位配も,を計算できる。

ている。すなわち、最初の画像フレームで見えている特

【0051】なむ、因子分解治に殴らず、毎回彼から物 れて観遊が大きくなることがある。

法では、より詳しく後述するように、権定対象の近傍の 国像フレームの部分集合と特徴点の部分集合に因子分解 法を適用し、それにより待られた回像フレームと特徴点 の位置情報の部分描定を使って、隠れて見えない特徴点 である中心対影によるものではなく、因子分解法で仮定 れたものになってしまう。そのため、描定値が収録のカ ている。しかしなから、カメラが物体の周りを一回りす るような状況では、最初の画像フレームで見えている特 数点の一部は独中で物体に強張されてしまりので、その ような仮定は、扱時間にわたった協勢された動画像には Kanadeは、特定の画像フレーム上で隠れて見えないよう ち、物体が説明な場合に、その特徴点が回像国上で観過 されるへき位配を指定する方法を投築している。この方 しかし、この方法で得られる指定値は、本来の故影条件 する故形モデル(正弦影や磁気中心弦影)により故影さ メレモデンためる中心故形による故影位頃から大きへが **【0050】 この問題への対応として、討述のTomasiと** の回像面での投影位置を最小二県近似によって求める。 な特徴点について、その国像面での投影位配、すなむ 適用できない。 ខ្ល \$

数点が途中で悶れて見えなくなったり、途中の画像フレ 60 体の三次元形状やカメラの運動を推定する方法では、

が基本であり、上に述べたような隠れて見えない特徴点 段的に、特徴点を全ての国像フレームで対応付けること に対する投影位回の指定を行う必要がある。

象に対し複数の特徴点の追跡を行った結果として得られ 5、各特徴点の各画像フレーム上での路標値を並べた行 別において、特徴点の追蔽により欠落した座標値(欠週 面)を高格度に描定できるようにし、以て、因子分解法 【0052】よって、本発明の目的は、一遊の時条列画 により物体形状及びカメラ運動の高階度な復元を可能に することにある。

第2のステップと、鼓第2ステップで作成された部分行 の行列の対応する欠測値を補完する第4ステップとを含 み、核第1のステップから鼓第4のステップまでの処理 像フレーム上での座標値を並べた行列中の欠週値を高増 は、眩メモリ上の行列から欠測値を1つ選択する第1の ステップと、放第1のステップで選択された欠割値を推 定するための、敵メモリ上の行列の部分行列を作成する 別に対し、その久測値とじて初期値を用い因子分解法を **適用して欠阅値の推定値を求め、求めた推定値を欠到値** として用い因子分解法を再度適用して欠到値の推定値を 修正する権定領算を反復して行うことにより、欠適値に 対する最終的な推定値を得る第3ステップと、駁第3ス テップで推定された最終的な推定値を用いて酸メモリ上 を放メモリ上の行列の全ての欠捌値が推定値を用いて補 よれば、一連の時系列画像に対し複数の特徴点の追跡を 行うことによりメモリ上に生成された、各特徴点の各画 【瞑題を解決するための手段】 請求項1配線の本発明に 度に推定する方法が提供される。この欠別値推定方法 **売されるまで替り返す特別である。**

ន

【0054】開水項2配線の発明によれば、酸第3ステ の、欠割値を含む行又は列を除いた部分行列に因子分解 ップにおいて、散第2ステップで作成された部分行列 法を適用することにより該初期値が求められる。

俊を入力する第1手段と、越第1手段により入力された 生成する第2手段と、該第2手段により生成された行列 を配体する第3手段と、「越筑3手段に配信されている行 各特徴点の各画像フレーム上での座標値を並べた行列を 因子分解法を適用して欠測値の推定値を求め、求めた推 定位を欠调値として用い因子分解法を再収適用して欠過 ルとデオカメラなどによって物体を協助した動画像など し、鮫部分行列に対し、その欠週値として初期値を用い [0055]また請求項3記載の発明によれば、デジタ るためのデータを入力する三次元データ入力装配が提供 される。この三次元データ入力较配は、一連の時系列画 から、対象物体の形状とカメラの運動を高精度に復元す 一道の時条列画像に対し複数の特徴点の追踪を行って、 別から、その欠適値を描定するための部分行列を作成

行列の対応する欠測値を補完する第4手段と、 眩第4手 手段より外部へ出力する第5手段とを具備する構成であ 段によって全ての欠调値が補完された後の行列を該第3

第7手段と、眩第7手段により作成された部分行列の欠 の欠測値として舷初期値を用い因子分解法を適用して欠 **倒値の推定値を求め、求めた推定値を欠測値として用い** 定函算を反復して行い、最終的に得られた推定値を用い [0056] 請求項4記載の発明によれば、酸第4手段 は、 眩 第3手段に配憶されている行列から推定対象の欠 関値を選択する第6手段と、舷第6手段により選択され た欠測値を推定するための散行列の部分行列を作成する 測値を含む行又は列を除いた部分行列に因子分解法を適 用することにより欠週値に対する初期値を求める第8手 段と、財類7手段により作成された部分行列に対し、そ 因子分解法を再度適用して欠測値の推定値を修正する推 て数第3手段に配信されている行列の欠週値を補完する 第9手段とからなる構成とされる。 [0057]

[0053]

カシステムについて説明する。なお、ここでは前述の版 解法により物体の三次元形状とカメラの逆動を高精度に 【発明の実施の形態】以下、本発明の欠測値推定方法及 び三次元データ入力装置の一実施形態として、デジタル 推定するために必要なデータを入力する三次元データ入 アデオカメシなどによって協勢された動画像から因子分 以中心射影モデルを仮定する。

【0058】図2は、この三次元データ入力システムの の三次元データ入力システムの全体的な処理の流れを示 ト中の欠剤値推定処理プロックの処理内容を示すフロー 機能ブロック構成を示すブロック図である。図3は、こ すフローチャートである。図4は、図3のフローチャー チャートである。 [0059] 図2において、100は助画像のF枚の画 **部100は、例えば、物体の撮影に使用されたデジタル** ラなどで予め協形された動画像のデータを格扱している 象フレームを入力する画像入力部である。この画像入力 ピデオカメラそのものであったり、 デジタルビデオカメ あるいは、外部の機器から通信回線を通じて助画像デー 記憶媒体から動画像データを簡み込むものであったり、

えば、物体のエッジや模様のような輝度変化の散しい点 タを取り込むものである。101は、画像入力部100 **くとも相前後した2枚の画像フレームを一時的に記憶す** るためのフレームメモリである。102は、フレームメ モリ101内の回像フレームからP個の特徴点を抽出し て、それを全フレームにわたって追跡し、前記(3)式 のような2F×Pの行列Wをワークメモリ103上に生 成する特徴点抽出・追跡部である。特徴点としては、例 が抽出される。このような特徴点の追跡(フレーム間で の特徴点の対応付け)は、例えば、相前後するフレーム から入力された一連の国像フレームの全部、又は、少な

S

に得られた推定値を用いて数類3手段に配協されている

値の推定値を修正する推定項質を反復して行い、最終的

出でのプロックマッチングによって行われる。

03上の行列Wを参照して推定すべき欠函値を一つ選択 する欠割値選択部106と、選択された欠落値の推定の **翌標値(欠測値)の推定を行う部分が欠測値推定部10** 5である。この欠週値推定部105は、ワークメモリ1 ための部分行列(後述)を行列Wから作成する部分行列 作成部107、作成された部分行列から欠測値の初期値 を設定する初期値設定部108と、設定された初期値か て行列Wの欠週値を補完する反復推定函算的109とか 【0060】前述のように特徴点の遊散、あるいは協影 時の照明の変動などによって、ある特徴点が、ある国像 03上に作成された行列Wにおいては、そのような特徴 点の座標値が欠落している。この欠落している特徴点の より商牌度な欠測値の推定値を求め、この推定値を用い 台、特徴点抽出・追跡部102によってワークメモリ1 ら出発して反復権定領算によって権定値を逐次修正し、 フレームでは抽出されない場合がある。そのような場 の蘚斑かたる。

メモリ103に得られた欠選値のない行列Wを外部の記 位媒体や、因子分解法による処理のためのシステムへ出 は、欠週値推定部105によって順次推定され、推定値 行列Wが符られれば、前述の因子分解法を適用すること により、撮影された物体の三次元形状とカメラの運動を 【0061】ワークメモリ103上の行列Wの各欠函位 によって審を換えられ、最終的に全ての欠週値が補完さ れた行列Wがワークメモリ103上に生成される。この **高燉度に復元することが可能になる。104は、ワーク** ようにして高路度な推定値を用いて欠測値が補完された カする出力部である。

[0062] このような三次元データ入力システムにお ける処理内容について、図3及び図4のフローチャート に示す処理の流れに治って詳細に説明する。

て特徴点の抽出・追跡を行う(処理プロック200,2 01)。なお、フレームメモリ101に動画像の倒えば 2フレームだけを一時的に配信する場合には、最終の第 【0063】画像入力部100によって助画像を入力し Fフレームまで、2フレーム単位で処理ブロック20 0,201の処理が逐次に繰り返される。

列Wがワークメモリ103上に生成されると、欠到値推 [0064] このようにして、前記 (3) 式のような行 (処理ブロック202, 203)。 具体的な処理を説明 定部 105 によって行列W中の欠適値の推定が行われる する前に、その基本的な考え方を説明する。

[0065] 図5は、特徴点1~7のフレーム1~8の 功し、その風様値が得られていることを示し、「?」印 の部分行列を作成する。この部分行列では、描定対象の 要素以外の要素は全て既知である(西標値が得られてい 自跡結果の説明図である。「●」印は特徴点の追跡を成 は特徴点の追跡を失敗しその脳標値が欠週値となってい ることを示す。このような欠週笛を含む行列Wはそのま までは因子分解法に利用できないため、欠週値を描定す る必要がある。欠遺伍の描定には、その特徴点の関りの **冷徴点の座橋値を利用する。まず、推定対象の欠週値を** 1つ遊択する。そして、週択した欠別値を含む、行列W る)ことが必敗である。 2

を作成し、当該欠測値を推定する。このようにして、欠 図値を1つずつ顧吹選択して描定し、最終的に行列W中 ム5の欠週佰を推定対象として選択したとする。この場 合、例えば図5に示す太嶽枠の内部に対応した、行列W の部分行列を作成する。この部分行列に基づいて欠弱位 次に、例えば、図5中の特徴点6のフレーム6の欠過値 を指定対象に選び、その権定のための部分行列を作成す る。例えば、特徴点1~6、フレーム1~6に対応する 部分行列を作成し、その欠適値を描定し、行列Wの当該 欠週佰を描定値で置き換える。次に、例えば図5中の特 は、特徴点1~1、フレーム2~8に対応する部分行列 【0066】倒えば、図5において、特徴点6のフレー を推定し、行列Wの眩当欠阅値を推阅値で置き換える。 徴点7のフレーム2の欠週値を推定対象に選択し、例え の全ての欠別値を推定する。 ន

【0067】以下、この女遺伝の指定処国について評価 に既明する。まず、欠適値推定部105の欠週値過択部 106によって、恒道のように、ワークメモリ103上 の行列W中の欠週値を1つ選択する (ステップ20

ಜ

2)。そして、この欠選値に対する推定を行う(ステッ **ア203) が、その群档について図4のフローチャート** を参照した説明する。

【0068】まず、部分行列作成節107において、2 つの監数m≧2, n≧3をランダムに選び、ワークメモ リ103上の行列Wから日枚のフレームとロ個の特徴点 を選び、権定対象のフレームが(nop, vop), p=0, |,...,nに、 描記対象の特徴点が (u.o., v.o.), f= 0,1,...,mになるように、行と列を入れ替えることによ り、次式のような部分行列を作成する。

[0069]

\$

[数15]

8

校開2000-3446

特閲2000-3448

9

15

(1 5)

10* [0071] [数16] [0070] (noo, voo) が推定対象の要案 (欠遡 位) である。つまり、欠週位を

{(ulj, vlj): i=0,1,..., m: j=0,1,..., n:

(18)

(中国社 (fi, 1) ★ (0,0) + (fi, 1)

ន 直股定部108によって、(u.o., v.o.) の初期値(u 6法については後述する。以下、反復推定政算部109 【0073】推定のための部分行列を作成すると、初期 (0), ^ (0) を決定する (ステップ301)。 この設定 (0072)から推定することを考えるわけである。

において、この初期値から出発し反復権定領算処理によ 向 (io, jo, ko) と位置し、 カメラ中心 1 から仮想 (3) 式の行列Wとして使い因子分解法を適用すること 2)。次に、部分行列の (1000, 1000) を (10(14), 1 (*)) (反復演算処理の1回目では、ステップ301で により、松徴点の白国ョ。、フレーム0 たのカメラの方 股定された初期値)で置き換え、この部分行列を前記 【0074】まず、kを0に設定する (ステップ30 国像平面3までの距離2。を求める(図1参照)。 って最終的な推定値を求める。

 $(u^{(k+1)}, v^{(k+1)}) = (m_0 \cdot s_0 + x_0 + \Delta u, n_0 \cdot s_0 + y_0 + \Delta v)$

[0079] ここで、mo, no, xo, yoは、前に求め られた (io, jo, ko), to, zo, Boを用いて前記 (2) 式により計算される。

【0082】が成立するか闘へる。ここでとは予め設定 された収束判定パラメータである。

彼回数Kに違した場合には、その段階の推定値(n

※差(△u, △v)は、(io, jo, ko), to, Zo, 比較判定をする (ステップ304)。

1以降の処理を改めて契行する。

304, YES) には、後述のように誤差 (Δu, Δ

を次式により散定する。 [0078]

[数17] 【0075】後述のように、(u(k), v(k))の推定関※30 ★及び反復回数の判定を行う (ステップ306)。 すなわ

【0083】収束条件が成立しないときには、部分行列 す。その際、ステップ307はkを1だけインクリメン v (**!) で母き換えてステップ303以下を繰り返 の (n oo, v oo) を、西町の補定値 (n (k+1)

と、出力部104によってワークメモリ103上の行列

の欠週値が補完され、新たな欠週値が見つからなくなる

【0086】次に、ステップ301における初期値 (u

Wが外部に出力され、当散システムの処理が終了する。

行拡張と呼ばれる方法と、列拡張と呼ばれる方法を述べ

(0), Λ(0))の決定方法について幇助する。ここでは、

[0084] ステップ3,06において、(18) 式の収 東条件が成立した場合、あるいは、反復回数とが最大反 (*+!), v (*+!))を (uīo, v。。)の推定値として確定 する (ステップ30'8)。この推定値を用いて、ワーク

1の場合には観遊が発散する。そこで、0<F≦1に散 s。の関数として扱されるが、特に│比。・s。✓z。│> 定したバラメータ r を用い、 | k。・s。/ z。| ≦ r の

て、推定のための部分行列を作成し直し、ステップ30 nと、フレーム部分集合及び特徴点部分集合を選び直し 【0076】 | k。・s。/ z。| > rの語合 (ステップ 304, NO) には、ステップ300に戻り、整数四,

【0077】 | ko・8o/2o| ≦rの場合 (ステップ v) を評価し、筑K+1段の描定値(u (*+1), v (*+1))

(17)

[0081] [数18] ち、次式 【0080】次に、指定値(u (k+1), v (k+1))の収束★

[0085] そして、ステップ202 (図3) で次の欠 (図3、ステップ204)。 $\|(u^{(k+1)}, v^{(k+1)}) - (u^{(k)}, v^{(k)})\| < \epsilon$

激値を選び、同様に反復権定処理を行う。 行列wの全て **용** 【0087】まず、行拡張と呼ばれる方法について説明 する。 (15) 式の欠測値推定のための部分行列 [0088] 2 メモリ103上の行列Wの対応要案が哲音換えられる

【0091】を作り、この部分行列を次のように分解す W_{2s} × (n+1) [0092] [数19] W2sx(n+1)-T [1 ...1] = M2sx383x(n+1) [0089]から、福定対象のuoo, voを含む行を除 $\widetilde{\Psi}_{2(n+1)\times(n+1)}$ いた部分行列 [0600] [外4] [外5]

[0093] ここで、Manasは田枚のフレームにおける 10*(n+1)個の特徴点は次の方程式系を遊たす。 [0094] の三次元座標を設す行列である。第0フレームにおける* カメラの姿勢を示す行列、Sam(n+1) (In+1) 個の特徴点

(50) 10p = m0. 8p+ x0 ν_{0p} = n ₀· s _p + y₀

※[数21] [0095] ただし、

[9600]

W2(5+1) X (6+1) (21) $\mathbf{x}_0 = \frac{1}{n+1} \sum_{\mathbf{p}=0}^{n} \mathbf{u}_{0\mathbf{p}}, \ \mathbf{y}_0 = \frac{1}{n+1} \sum_{\mathbf{p}=0}^{n} \mathbf{v}_{0\mathbf{p}}$

【0100】から、福定対象のuoo, vooを含む列を密 いた部分行列 [0101] [外7] [0097]である。そして、(20)式を最小二弾法 (1110), 110) とする。なお、(20) 式には8つの 末幺数 (noo, voo), (mo, no) があるので、これ ≥3でなければならない。したがって、既知特徴点は最 らの未知数を解くためには2(n+1)≥8、すなわち、n **成3個必要である。しかし、ノイズなどの影響を考慮** こよって解き、求めた (uoo, voo) を初期値

【0102】を作り、この部分行列を次のように分解す ₩_{2(m+1)} × n [0103] 【0098】次に、列拡張と呼ばれる方法について説明 30 し、既知特徴点の数を4以上に選ぶのが適当である。 する。 (15) 式の欠測値権定のための部分行列 [0009]

★における第0特徴点は次の方程式系を溢たす。 [0105] [数23] W2(m+1) xn-T [1...1] = M2(m+1) x38'3xn 点の三次元座標を表す行列である。(四1)枚のフレーム 🖈 におけるカメラの姿勢を示す行列、S'3xnはn個の特徴 【0104】ここで、M_{3(四+1)} **は(四+1)枚のフレーム

(23) f=0, 1, ···, a 7x+09. 2mm17n 1 4 +0 0 . J u = 0 J A

女 [数24]

[0106] ただし、

[0107]

 $x_{f} = \frac{1}{n} \sum_{p \in J} u_{fp}, y_{f} = \frac{1}{n} \sum_{p \in J} v_{fp}$

(54)

(11(0), v(0))とする。なお、(23)式には5つの 末知数 (noo, voo), soがあるので、これらの未知 【0108】である。そして、 (23) 式を最小二線法 によって解き、求めた (n.o., v.o.) を初頭値

数を解くためには2(m1)25、すなわち、田≧2でな ければならない。

【0109】このような初期街の決定方法が街道のToms 50 siとKanadeの構定方法である。この方法により求められ

る初期位は、実際のカメラモデルである中心射影による 投影によるものではなく、因子分解法で仮定する投影モ **ピル(ここでは数気中心虹形)により故邪された位頤だ** あり、中心対影による投影位置からの誤遊が大きくなる 場合がある。

て道板された特徴点の画像面での投影位配を、実際のカキ 【0110】本発明では、このような初期値から出発し **型を反復する方法によって、特定の回像フレームにおい** て、推定観燈を定型的に評価しつつ推定値を修正する処

高い楫度で推定することができる。

$$(\Delta u, \Delta v) = \frac{1}{\pi 0} \sum_{i=1}^{\infty} \left(\frac{(k_0 \cdot s_0)}{\pi 0} \right)^i (i_0 \cdot (s_0 - t_0), i_0 \cdot (s_0 - t_0))$$

$$+ \frac{(k_0 \cdot s_0)}{\pi 2} (i_0 \cdot t_0, i_0, t_0)$$
(2:

【0113】この(25)式によって指定限差を評価す ※標系Σ。= (0o; io, jo) における、投影点座標の推

[0114] ここで、上記 (25) 式は、次のように言

、上記(2 5) 気は、次のように言 [0 11 5]
。 フレーム 0 での二次元ローカル磁※ [数2 6]
(
$$\Delta u, \Delta v$$
) = $\frac{1}{x_0}$ $\sum_{i=1}^{4} \left(\frac{D}{x_0} \right)^{4} (u_i, v) + \frac{D}{x_0} (u_i, v)$

防点の阻応でむる (図1参照)。 (ロ*, ∨。) は、Σ。 = (00; io, jo)での、(ロ+1)個の特徴点の集合の組 メラ中心1と同じ倒にあるときに負、反対回にあるとき (00; io, jo)での点80の画像面2へ正射影した投 R。から仮想画像面3までのワールド座標系での符号付 に正の符号をとる(図1参照)。(n, v)は、Σ。= 【0116】となる。ただし、Dは描定される点8。6 き距離であり、特徴点80が仮想画像面3に対して、カ

収扱点の座標である(図1
$$\star$$

 $\frac{1_{f^{-}}(s_{D}-t_{f})}{s_{f_{D}}}$ $v_{f_{D}}=s_{f_{D}}$ $t_{f_{D}}$

$$\mathbf{s}_{\mathbf{f}_{\mathbf{p}}} = \mathbf{k}_{\mathbf{f}} \cdot (\mathbf{s}_{\mathbf{p}} - \mathbf{t}_{\mathbf{f}})$$

(27)

【0119】ここで、個単のために、的近のようにカメ

[0124]

*メラモデルである中心虹影による投影に近くなるように

【0111】次に、ステップ305における権定値 (u

$$\begin{cases} -\frac{(k_0 \cdot s_0)}{s_0} & (i_0 \cdot (s_0 - t_0), \ i_0 \cdot (s_0 - t_0)) \\ -\frac{s_0}{s_0} & (i_0 \cdot t_0, i_0, t_0) \end{cases}$$

い回すことができる。フレーム0での二次元ローカル磨※

$$(\Delta u, \Delta v) = \frac{1}{s_0} \cdot \frac{\omega}{\Sigma} \left(-\frac{D}{s_0} \right)^1 (u, v) + \frac{D}{s_0} (u_C, v_C)$$

女[0120]

[0123] に注意すると、

する。 (u (ハ), v (ハ)) の観差 (Δu, Δv) は、次の (*) , ^ (*)) の観遊 (∇ n , ∇ v) の評価について観思 ようにして (io, jo, ko), to, zo, soの関数と

して扱される。 [0112] [数25]

定値の額登 (△u, △v) は、

[0115]

$$\frac{1}{0} \int_{0}^{1} (u_{i}, v) + \frac{D}{s} (u_{c}, v_{c})$$
(2.6)

【0117】 (25) 式と (28) 式は次のように示す ★参照)。もしカメラの光軸がCを通れば、(ロ。, v。) ことができる。フレーム f での点 8 ,の回像面 2 へ中心 = 0となる。

対形した投影点の座標を (Uip, Vip)とすると (図1

心Cの回像回
$$2$$
へ正分散した投稿の函様である(図 1 本 $\frac{1}{1}$ $\frac{$

◆デーラー展開して [0122] 【0121】を定義すると、ワールド座標系の原点を物 体の狙心に採ったとき、2,はカメラ中心1から仮想画 3 + 1 - 1 T ラの魚点距離1 (エル)を1とする。

(58)

(数29)

(58)

[数30]

19
$$\varphi \vee_{f} \psi = \left\{ \frac{1}{\varepsilon_f} \cdot \frac{(k_f \cdot s_p)}{\frac{2}{3}} + \frac{(k_f \cdot s_f)^2}{\kappa_f^4} \cdot \frac{(k_f \cdot s_p)^3}{\kappa_f^4} + \cdots \right\} \\
\times (1_f \cdot (s_p - t_f) \cdot 1_f \cdot (s_p - t_f)) \\
= \frac{1}{\kappa_f^4} \sum_{j=0}^{\infty} \left(\frac{(k_f \cdot s_p)}{\kappa_f^4} \right)^{\frac{1}{2}} (1_f \cdot (s_p - t_f) \cdot 1_f \cdot (s_p - t_f))$$

校照2000−3446

【0125】となる。したがって、

[0126]

$$\frac{1}{\pi \ell} \left[i_{\ell} \cdot \theta_{p} + \frac{1}{\pi \ell} \cdot \ell_{\ell} \left(k_{\ell} \cdot \theta_{p} - (i_{\ell} \cdot \ell_{\ell}) \right) + \frac{1}{\pi \ell} \left(\frac{(k_{\ell} \cdot \theta_{p})}{\pi \ell} \right) \frac{1}{\pi \ell} \frac{i_{\ell} \cdot i_{\ell}}{\pi \ell} (k_{\ell} \cdot \theta_{p}) \right]$$

$$\frac{1}{r_0} = \frac{1}{s_{\ell}} \left\{ \frac{1}{r} \cdot s_0 + \frac{1}{s_{\ell}} \cdot (k_{\ell} \cdot s_0) - (1_{\ell} \cdot i_{\ell}) \right\} + \frac{1}{r} \cdot (s_0 - i_{\ell})} + \frac{1}{s_{\ell}} \cdot \frac{1}{s_{\ell}} \cdot \frac{1}{s_{\ell}} \cdot \frac{1}{s_{\ell}} \cdot (k_{\ell} \cdot s_0) \right\}$$

(31)

\$ は、ステップ304(図4)に図道して述べたように描 [0127]となる。(31)式の右辺第1項は擬似中 第2項以降が0に近似される。ワールド座標系の原点を ・(s"- ち,))は、フレーム fの二次元ローカル 脳標系 >1の場合には餌袋が発散するので、そのような場合に から仮想画像面3までの距離、 (i,・(s,-t,), j, **物体の風心に採ったとき、2 to-2t=kt・8 は、点** pから仮想画像面3までの距離D、2,はカメラ中心1 【0128】 (25) 式かち、特に | ko・8o/zo| ♡射影の式と一致し、|s゚ | ゚ / z ; ゚ + 0 としたとき、 (i, · (-t,), j. · (-t,)) は、 2,= (0,; i,, 定のための部分行列を構成し直す必要があるわけであ $\Sigma_t = (0_t; i_t, j_t)$ たの点 s_s の正対形の函極、 j,) での点Cの正射形の座標である。

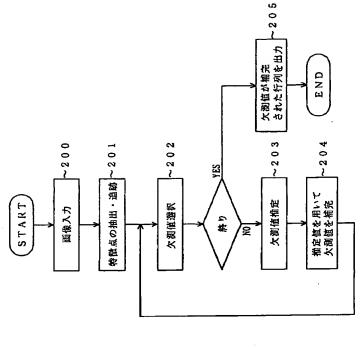
ಜ どをシステムパス 4 0 7 によって接続したようなコンピ 専用のハードウェアによって実現することも可能である ターフェイス405及び出力インターフェイス406な が、例えば図6に略示するようなCPU400、メモリ ロッパーディスクなどの可観記録媒体404の配み铅色 のためのドライブ403、外部の入力機器との入力イン 【0129】図2乃至図4を参照して説明した処理は、 401、ハードディスクなどの補助配徴数徴402、

に競み込まれる。特徴点抽出・追跡によって作成される カされ、あるいは補助配熔装置402に一旦格納された 能である。この場合、図3及び図4に示す処理を契行さ せるためのプログラム410はメモリ401上に置かれ メモり401にロードされ、あるいは袖助記憶装置40 2に一旦格納され処型実行時にメモリ401にロードさ れる。処理対象の時系列国像は、例えば、デジタルビデ オカメラなどの画像入力機器から入力インターフェイス 405を介してメモウ401に磐を込まれ、又は補助配 行列はメモリ401上に置かれる。欠週値が補完された ス406を介して外部の機器もしくは処理システムへ出 ュータを用い、ソフトウエアによって実現することも可 てCPU400によって東行される。このプログラム4 10は、例えば、それが記録されたフロッピーディスク 協装屋402に一旦格納され処理政行時にメモリ401 行列は、例えば、メモリ401から出力インターフェイ などの口凝記録様体404かのドライブ403を수した 後、外部の機器もしくは処国システムへ出力される。 【発明の効果】以上の説明から明らかなように、本発明 によれば、一道の時来列画像に対し複数の特徴点の道路 を行った結果として得られる、各特徴点の各回像フレー ム上での座標値を並べた行列における欠調値を高辯度に Ξ

(15)

【図6】本発明をソフトウエアにより実現するために用 いられるコンピュータの構成例を示すプロック図であ 指定することが可能である。特徴点の強敵が起きるよう

(⊠3)



[図2]

[図]

[図6]

C- World Origin Hypothetical Image Plane (V. V.) = (v. + dar v. + dr) (£) ٤, (F, J, I)

の大型位

[⊠2]

特徴点抽出・過略部 反復推定演算部 部分行列作成部 フレームメモリ 久迦值推定部 初期值散定部 欠调值選択部 ワークメモリ 100 画像入力部 出力部 [符号の説明] 101 104 105 106 108 109 102 103 107 [図2] 本発明による三次元データ入力システムのプロ 10 適用することにより、対象物体の三次元形状とカメラ選 定位を用いて欠到値を補完した行列を入力することが可 能であり、したがって、その行列を用いて因子分解法を な条件で協防された時条列国像についても、 高階度な権 【図3】三次元データ入力システムの全体的処理フロー 助の高벾度な復元が可能になる、等々の効果を得られ 【図5】 欠週値の推定方法の説明のための図である。 [図4] 欠測価推定処理のフローチャートである。 【図1】 様似中心好影モデルの説明図である。 を示すフローチャートである。

【図面の簡単な説明】

ック図である。

